

А. И. Потапов¹, А. Г. Орлов^{2*}, Е. Н. Шестакова², Г. А. Орлов²

¹Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

**alor110@mail.ru*

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СТАЛЬ ДЛЯ КОВКИ ВАЛКОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Предложена высокоуглеродистая заэвтектоидная сталь для производства кованных валков горячей прокатки. Проведено исследование горячей пластичности стали с учетом ликвации химических элементов в слитках массой до 20 тонн. Установлено, что предложенная сталь обладает пластичностью, достаточной для проведения горячей деформации (ковки) с небольшими единичными обжатиями. Установлен температурный интервал деформации слитков: температура конца деформации должна быть не ниже 900 °С, температура нагрева под ковку – 1150 °С. По комплексу свойств сталь 140Х2НМФБ рекомендуется для изготовления цельнокованных валков и бандажей для составных валков горячей прокатки из слитков массой до 10 тонн.

Ключевые слова: высокоуглеродистая сталь, кованные валки, горячая прокатка, увеличение твердости, механические свойства, бандаж, составные валки.

A. I. Potapov, A. G. Orlov, E. N. Shestakova, G. A. Orlov

ADVANCED STEEL FOR FORGING OF ROLLS OF HOT ROLLING

The article presents high-carbon hypereutectoid steel for the production of hot rolling forged rolls. Hot ductility of the steel has been investigated considering segregation of chemical elements in ingots weighing up to 20 tons. It has been found that the possesses steel presented ductility sufficient for hot deformation (forging) with small single compressions. The temperature range of deformation ingot has been found: finite temperature deformation should not be below 900 °C, the temperature of the forging – 1150 °C. The range of pearlite to austenite transformation have been determined. It has been established that the transformation range is located in the temperature 750–790 °C. The recommended austenitizing temperature is in the range 880–920 °C. According to its properties steel C1.4Cr2NiMoWNb can be recommended for manufacturing solid-forged rolls and bandages for composite rolls of hot rolling process from ingots weighing up to 10 tons.

Keywords: high-carbon hypereutectoid steel, forged rolls, hot rolling, hot increased hardness, mechanical properties, bandage, compound rolls.

Для изготовления кованных валков горячей прокатки традиционно используются хромоникелевые стали типа 50ХН и 60ХН и стали с более высоким содержанием углерода 75ХМ, 9Х2, 9ХФ и 9Х2МФ и др. Одним из основных элементов, определяющих эксплуатационную стойкость валков, является углерод, содержание которого в кованных валках обычно не превышает 0,85–0,95%.

Одним из способов повышения стойкости является увеличение содержания углерода в стали для кованных валков горячей прокатки. В частности, была разработана сталь 100ХНМФ [1] (1,00 % С), которая обеспечила более высокую стойкость валков в промышленных условиях. Позднее [2] эта сталь была использована для изготовления бандажей вертикальных валков широкополочного стана ОАО «НТМК». Другим примером является сталь 110Х2ФБ [3] (1,10 % С), содержащая ниобий. Установлено, что введение в сталь ниобия в количестве 0,02–0,05 % повышает ее теплостойкость. Сталь, легированная ниобием, по характеристикам прочности и пластичности превосходит традиционную сталь 9Х2МФ особенно при повышенных температурах (около 500 °С). Применение для производства кованных валков заэвтектидных сталей с более высоким содержанием углерода (типа 150ХНМ) связано с технологическими проблемами низкой деформируемости крупных слитков. Опыт показал, что ковка слитков из стали 150ХНМ сопряжена с повышенным трещинообразованием и увеличением трудозатрат на ковку в 2,0–2,5 раза.

В связи с изложенным нами была поставлена задача разработки состава износостойкой заэвтектидной стали, пригодной для изготовления кованных валков и бандажей для валков горячей прокатки. За основу была взята сталь 150ХНМ (1,4–1,6 % С, 0,8–1,25 % Cr, 0,8–1,25 % Ni, 0,1–0,3 % Mo), в которой было снижено содержание углерода до 1,2–1,4 % для придания стали большей способности деформироваться в горячем состоянии. С целью увеличения содержания карбидов в стали повышено содержание хрома до 1,4–1,7 %, добавлены сильные карбидообразующие элементы ванадий и ниобий, обеспечивающие получение мелкозернистой и достаточно твердой, износостойкой структуры стали, и, как следствие, повышение эксплуатационных свойств валков.

В окончательном варианте нами предложена и запатентована сталь [4] 140Х2НМФБ, содержащая 1,2–1,4 % С; 0,2–0,5 % Si; 0,5–0,8 % Mn; 1,4–1,7 % Cr; 0,6–0,9 % Ni; 0,1–0,3 % Mo, а суммарное среднее содержание ванадия и ниобия определяется соотношением

$$(V + Nb) = C/12,$$

где V, Nb и C – соответственно среднее содержание ванадия, ниобия и углерода в %. При этом среднее содержание ванадия должно быть в 2–2,5 раза больше, чем ниобия.

Для исследования технологических и эксплуатационных свойств предложенной стали была получена серия плавок с варьированием химического состава.

На первом этапе методом прокатки на клин литых образцов [5, 7] проведено исследование пластичности плавки, имеющей базовый состав А. Нагрев образцов осуществляли в электрической печи до температур 1150 и 1180 °С с выдержкой 30 мин, после чего производилось охлаждение в печи до температуры испытания (прокатки) с последующей выдержкой при этой температуре также в течение 30 мин.

Пластичность оценивали степенью деформации сдвига Λ_p до разрушения в формулировке В. Л. Колмогорова [6]. По результатам испытаний построена диаграмма пластичности (рис.), из которой следует, что сталь 140X2НМФ обладает пониженной пластичностью, но достаточной для проведения горячей деформации (ковки) с небольшими единичными обжатыми. Для стали характерно резкое падение уровня пластичности с понижением температуры. Температура конца деформации должна быть не ниже 900 °С, температура нагрева под ковку – 1150 °С. Нагрев до более высокой температуры (1180 °С) приводит к некоторому снижению уровня пластичности.

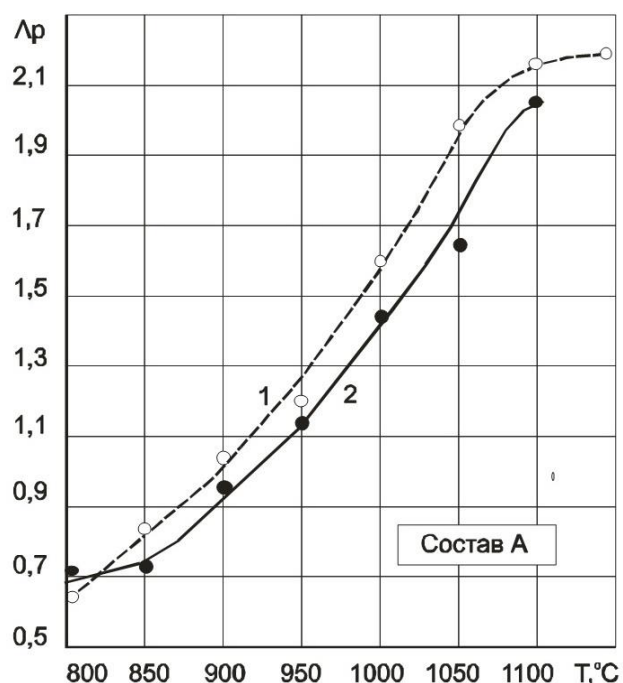


Рис. 1. Диаграмма пластичности стали 140X2НМФБ:
1 – нагрев до 1150 °С; 2 – нагрев до 1180 °С

Проведено дилатометрическое определение критических точек предложенной стали. Установлено, что превращение A_{c1} находится в интервале температур 750–790 °С. Рекомендуемая температура аустенизации лежит в интервале 880–920 °С. Повышенная твердость валков горячей прокатки из этой стали (250–350 НВ) должна обеспечиваться нормализацией с отпуском.

Прокаливаемость сталей определена методом торцевой закалки по методу Джомини на стандартных образцах диаметром 25 мм и длиной 100 мм после нагрева до температур 880 и 920 °С. Полученные кривые прокаливаемости свидетельствуют о том, что глубина закаленного слоя стали с ниобием больше, чем стали, не содержащей ниобия. При этом с повышением температуры нагрева с 850 °С до 900 °С глубина закаленного слоя в обоих случаях возрастает.

Для оценки теплостойкости были проведены испытания механических свойств на растяжение по ГОСТ 9651-84. Образцы для испытаний изготовлены из прутков, подвергнутых тройной нормализации (последняя – от 900 °С с последующим отпуском на 600 °С).

Изменение прочностных характеристик металла плавки с более высоким содержанием углерода (1,39 %), но без ниобия несколько иное, чем металла плавки с меньшим содержанием углерода (1,20 %), но с ниобием. В первом случае уже начиная с 300–400 °С происходит снижение величин σ_B и $\sigma_{0,2}$. Для плавки с ниобием снижение указанных характеристик начинается выше 400 °С (σ_B) и 500 °С ($\sigma_{0,2}$). Таким образом, результаты данных испытаний подтвердили ранее полученные данные о том, что добавка ниобия приводит к повышению теплостойкости стали типа 140X2НМФБ.

На специальной установке проведено исследование стойкости сталей к абразивному износу. Износостойкость оценивали по потере в массе стальных пластин после истирания их определенным объемом песка. Результаты экспериментов подтверждают тот факт, что износостойкость стали определяется, главным образом, объемной долей карбидной фазы и, следовательно, количеством С, Nb, V, Cr, содержащихся в ее составе.

Таким образом, комплексное исследование технологических и эксплуатационных свойств предложенной стали типа 140X2НМФБ показало, что при содержании углерода до 1,4 % сталь обладает пластичностью, достаточной для проведения горячей деформации (ковки) с небольшими единичными обжатиями в интервале температур 1150–900 °С. Основным видом термообработки валков для получения повышенной твердости (250–350 НВ) и благоприятной микроструктуры является нормализация с отпуском. Исследованная сталь сохраняет высокий уровень прочностных характеристик, по крайней мере, до температуры 500 °С. Сталь рекомендуется для изготовления валков

небольших размеров и, главным образом, для изготовления кованных бандажей для составных валков, роликов линий вторичного охлаждения МНЛЗ и др.

По результатам проведенных исследований разработаны режимы нагрева под ковку слитков массой 5,5–10,0 тонн, технология ковки рабочих валков и бандажей для составных валков, а также режимы первичной термической обработки поковок и окончательной термообработки валков и бандажей на твердость 285–350 НВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. СССР № 388052. Сталь для валков / Маркин С. В., Погоржельский В. И., Калошин И. Н. и др. // Открытия. Изобретения. 1973. № 28.
2. Разработка технологии производства бандажей для вертикальных валков / В. В. Тимофеев, А. А. Полушин, А. А. Опарина [и др.] // Сталь. 2001. № 11. С. 47–48.
3. А. с. СССР № 1076485. Сталь / Мигачев Б.А., Бочкарев В.И., Склюев П.В., Потапов А.И. и др. // Открытия. Изобретения. 1984. № 8.
4. Пат. 2540241 Россия. Сталь для изготовления кованных прокатных валков / Потапов А.И., Орлов Г.А., Шестакова Е.Н., Орлов А.Г. // Открытия. Изобретения. 2015. № 4.
5. Экспериментальные методы определения высокотемпературной пластичности сталей и сплавов / А. И. Потапов, Б. А. Мигачев, В. Л. Колмогоров, В. И. Бочкарев // Кузнечно-штамповочное производство. 1985. № 7. С. 6–9.
6. Колмогоров В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушение. М.: Металлургия, 1970. 230 с.
7. Мигачев Б. А., Потапов А. И. Пластичность инструментальных сталей: справочник. М.: Металлургия, 1980. 88 с.